

Rec'd PCT/PTO 21 DEC 2003



REC'D 20 JUL 2003

WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 29 267.1

Anmeldetag: 28. Juni 2002

Anmelder/Inhaber: Philips Intellectual Property & Standards GmbH,
Hamburg/DE

(vormals: Philips Corporate Intellectual Property GmbH)

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

Bezeichnung: Vorrichtung zur optischen Signalverarbeitung
und nichtlineares optisches Bauelement

IPC: G 02 F, C 09 K

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der
ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 3. Juni 2003
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident
Im Auftrag



ZUSAMMENFASSUNG

Vorrichtung zur optischen Signalverarbeitung und nichtlineares optisches Bauelement

Eine Vorrichtung zur optischen Signalverarbeitung ausgerüstet mit einer Quelle für elektromagnetische Strahlung mit veränderbarer Intensität, einem nicht-linearen 5 optischen Bauelement, das mindestens eine photolumineszenzfähige Kohlenstoff-Nanoröhre umfasst, und mit einem Mittel zur Detektion elektromagnetischer Strahlung nutzt die Nichtlinearität der Photolumineszenz von Kohlenstoff-Nanoröhren zur optischen Signalverarbeitung aus.

10 Die Erfindung betrifft auch ein nichtlineares optisches Bauelement.

Fig. 2

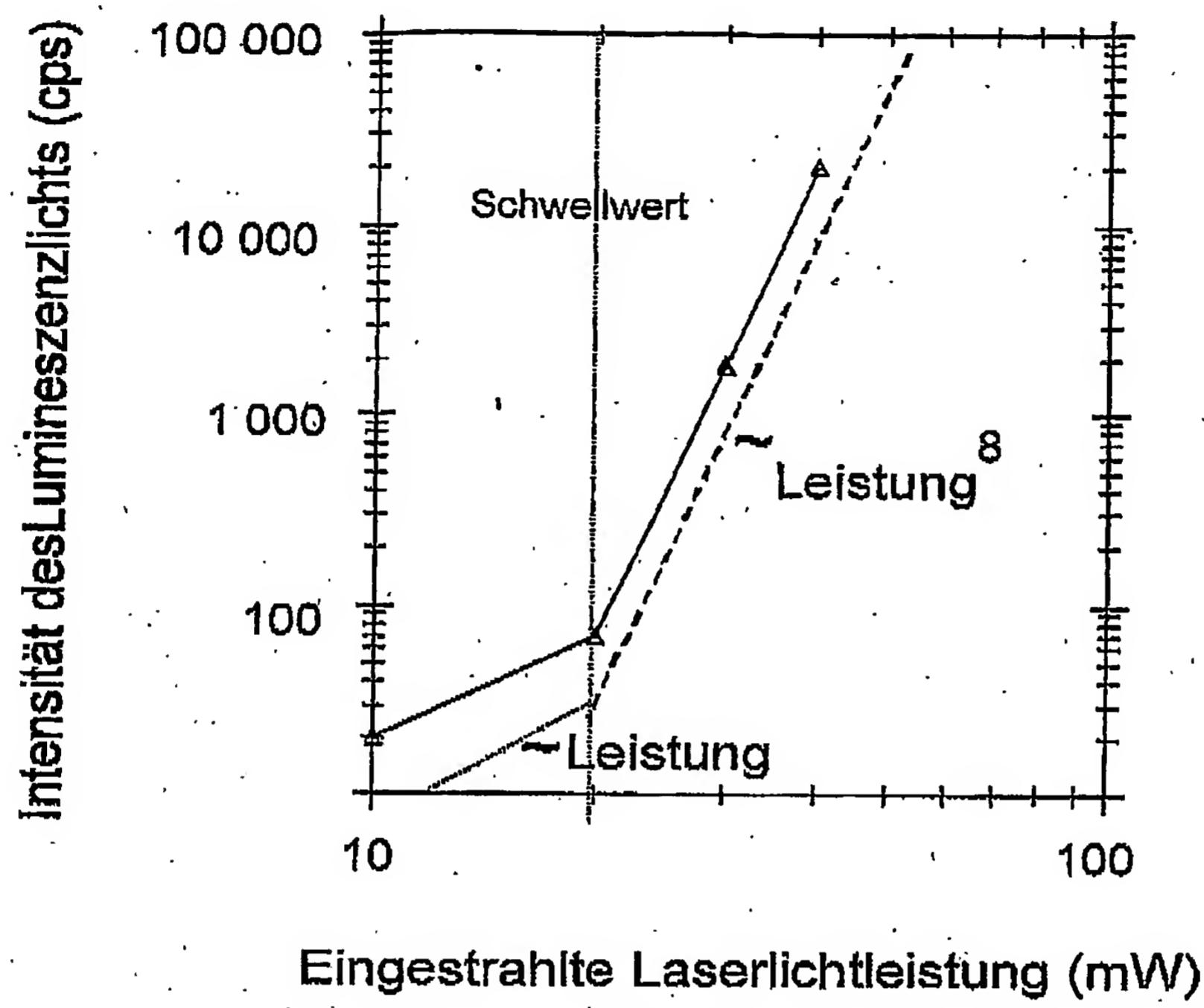


FIG. 2

BESCHREIBUNG**Vorrichtung zur optischen Signalverarbeitung und nichtlineares optisches Bauelement**

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur optischen Signalverarbeitung, das eine Quelle für elektromagnetische Strahlung, ein nichtlineares optisches Bauelement und ein Mittel zur Detektion elektromagnetischer Strahlung umfasst und das als photinisches Bauelement, Sensor, optischer Schalter, optischer Transistor, optischer Verstärker, optischer Speicher und als optisches Logik-Element für einen optischen Computer anwendbar ist. Die Anwendungsgebiete liegen in der optischen Informationsübertragung, der Sensorik und der integrierten nichtlinearen Optik.

10

Mit Hilfe von nichtlinearen optischen Bauelementen und nichtlinearer Optik lassen sich digitale optische Speicher und logische Gates [AND, OR, NOT (Inverter)] realisieren. Das sind im Prinzip alle Funktionen, die man braucht, um einen optischen Computer zu bauen. Daher erwartet man, in Zukunft optische Computer bauen zu können, die mit 15 Lichtpulsen statt wie konventionelle elektronische Computer mit elektrischen Strom- und Spannungspulsen arbeiten. In diesen Supercomputern der Zukunft werden Lichtimpulse die Rolle der Elektronen als Informationsträger übernehmen.

Auch konventionelle optische Informationsübertragungssysteme, z. B. Lichtleitsysteme, 20 arbeiten mit Lichtpulsen. In Lichtleitsysteme werden elektrische Signale in Lichtsignale umgewandelt, die durch das Leitsystem zum Empfänger gelangen. Dort werden sie in elektrische Signale oder in eine andere für den Nutzer geeignete Form gewandelt.

Zur Signalverarbeitung in konventionellen Lichtleitsystemen wird ein optisches Signal 25 normalerweise unmittelbar nach dem Empfang über ein elektro-optisches Interface in ein elektrisches Signal umgewandelt und die Weiterverarbeitung erfolgt dann mit konventionellen Siliziumbauelementen.

Einige Materialien, wie LiNbO₃, verhalten sich optisch nichtlinear, d.h. ihre unterschiedlichen optischen Parameter zeigen eine nichtlineare Abhängigkeit voneinander.

Wichtige Typen nichtlinearer Abhängigkeiten betreffen die optische Polarisation, die Absorption, Brechungsindex, die Modulation der Amplitude der optischen Intensität,

- 5 Phasenmodulation, Richtungsänderungen und Frequenzveranderungen.

Nichtlineare optische Bauelemente nutzen die Eigenschaften solcher nichtlinearer optischer Materialien (NLO) aus und werden als elektro-optisches Interface zwischen optischer und elektrischer Informationsverarbeitung eingesetzt. Sie können auftreffende

- 10 Signale wie Transistoren verstärken oder als Schalter (oder Gate in einer Logikschaltung) den Lichtdurchgang steuern. In späteren Computergenerationen dürfen derartige Phototransistoren eine wichtige Rolle spielen.

Weitere Beispiele für nichtlineare rein-optische Bauelemente sind Leistungsbegrenzer,

- 15 Schwingungsgeneratoren, optische Speicher, optische Sensoren und optische Schalter.

Ein optischer Schalter ist beispielsweise in WO8900714 beschrieben. WO8900714 offenbart eine Schaltermatrix mit optisch nichtlinearen, z. B. bistabilen Elementen, die als optisch aktive Schichten auf einer gemeinsamen Substratoberfache liegen, wobei

- 20 die Substratoberfache als aus Säulen bestehende Mikrostruktur ausgebildet ist und die optisch aktiven Schichten auf Stirnflächen von freien Sulenenden, in einem Querschnittsbereich von Säulen und/oder auf den Säulen abgewandten Seiten des Substrats aufgebracht sind.

- 25 Das beschriebene Prinzip hat den Nachteil, dass sein Platzbedarf relativ groß ist, wodurch insbesondere die örtliche Auflösung einer Schaltermatrix mit solchen optisch nichtlinearen Elementen begrenzt ist. Der allgemeine Trend der Technik geht jedoch zu einer weiteren Miniaturisierung vom Mikrobereich in den Nanobereich.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zur optischen Signalverarbeitung im Nanobereich zu schaffen, die eine Quelle für elektromagnetische Strahlung, ein nicht-lineares optisches Bauelement für die Operationen Schalten, Verstärken, Begrenzen und logisches Verknüpfen und Mittel zur Detektion elektromagnetischer Strahlung umfasst.

Die Lösung dieser Aufgabe gelingt erfindungsgemäß mit einer Vorrichtung zur optischen Signalverarbeitung ausgerüstet mit einer Quelle für elektromagnetische Strahlung mit veränderbarer Intensität, einem nicht-linearen optischen Bauelement, das 10 mindestens eine photolumineszenzfähige Kohlenstoff-Nanoröhre umfasst, und mit einem Mittel zur Detektion elektromagnetischer Strahlung.

Kohlenstoff-Nanoröhren haben einzigartige mechanische und elektronische Eigenschaften, die sie für nanomechanische und nanoelektromechanische Anwendungen z. B. 15 in der nanoskalaren Elektronik geeignet machen. Über ihr optisches Verhalten ist jedoch bisher wenig bekannt. Überraschenderweise wurde jetzt gefunden, dass Kohlenstoff-Nanoröhren neben Elektrolumineszenz auch eine ausgeprägte Photolumineszenz zeigen können.

20 Die vorliegende Erfindung zielt auf den Einsatz von Kohlenstoff-Nanoröhren als nanoskalare rein-optische Modulatoren in einem nichtlinearen rein-optischen Bauelement. Sie nutzt die nichtlineare Abhängigkeit der Intensität des ausgestrahlten Lumineszenzlichtes von der Intensität der elektromagnetischen Strahlung, die zur Anregung verwendet wird.

25

Überraschenderweise wurde auch gefunden, dass die Intensität des Lumineszenzlichtes nach Überschreiten eines Schwellenwertes in etwa mit der achten Potenz der Intensität der anregenden elektromagnetischen Strahlung steigt.

In der erfundungsgemäßen Vorrichtung ist durch Variation der Eingangsintensität der geführten elektromagnetischen Strahlung die Ausgangsintensität dynamisch als Funktion der Eingangsintensität steuerbar. Die Signalverarbeitung geschieht hier also über das nichtlineare rein-optische Bauelement und nicht über einen elektro-optischen Modulator, so dass eine rein optische Verschaltung und damit auch rein optische logische Schaltungen mit den damit verbundenen sehr hohen Schaltgeschwindigkeiten möglich sind.

Nach einer Ausführungsform der Erfindung umfasst das nichtlineare optische Bauelement ein Substrat und eine Schicht mit einer Anzahl von photolumineszenzfähigen Kohlenstoff-Nanoröhren.

Nach einer anderen Ausführungsform der Erfindung umfasst das nichtlineare optische Bauelement ein Substrat und eine Schicht mit einer Anzahl von photolumineszenzfähigen Kohlenstoff-Nanoröhren und weiterhin eine Zwischenschicht zwischen Substrat und der Schicht mit einer Anzahl von photolumineszenzfähigen Kohlenstoff-Nanoröhren.

Die elektromagnetische Strahlung ist bevorzugt monochromatisches kohärentes Laserlicht.

Die Erfindung betrifft auch ein nichtlineares optisches Bauelement mit mindestens einer photolumineszenzfähigen Kohlenstoff-Nanoröhre.

In dem nichtlinearen optischen Bauelement kann die Kohlenstoff-Nanoröhre eine Dünn-schicht-Beschichtung aufweisen.

In dem nichtlinearen optischen Bauelement kann die Kohlenstoff-Nanoröhre auch in eine nichtoxidierende Matrix eingebettet sein.

In dem nichtlinearen optischen Bauelement kann die Kohlenstoff-Nanoröhre in eine nichtoxidierende Matrix eingebettet sein, die transparent für elektromagnetische Strahlung ist.

- 5 Die Kohlenstoff-Nanoröhre kann weiterhin in eine nichtoxidierende, flexible Matrix eingebettet sein.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand von vier Figuren weiter erläutert.

- 10 Fig. 1 zeigt beispielhaft die spektrale Verteilung des Lumineszenzlichts einer Probe von Kohlenstoff-Nanoröhren bei Anregung durch eine Laserlichtquelle mit einer Wellenlänge von 488 nm.

- 15 Fig. 2 zeigt die nichtlineare Intensitätsverstärkung von Licht durch Kohlenstoff-Nanoröhren.

Fig. 3 zeigt die Schwellenwerte der Intensitätsverstärkung für einige mehrwandige, durch Mikrowellen-Plasma-CVD erzeugte Kohlenstoff-Nanoröhren.

- 20 Fig. 4 zeigt den zeitlichen Verlauf der Intensitätsabnahme des abgestrahlten Lumineszenzlichtes bei verschiedenen Sauerstoff-Partialdrücken.

Eine Vorrichtung zur optischen Signalverarbeitung nach der Erfindung umfasst die folgenden Funktionsgruppen

- 25 - Erzeugung elektromagnetischer Strahlung,
- Nichtlineare Intensitätsverstärkung,
- Signalempfang.

- Mit der Vorrichtung lassen sich folgende Operationen ausführen: Schalten, Verstärken,
30 Begrenzen und logisches Verknüpfen mittels optischer Signale.

Unter optischem Signal wird ein elektromagnetischer Puls mit einer mittleren Wellenlänge im ultravioletten, sichtbaren oder infraroten Bereich des elektromagnetischen Spektrums verstanden.

5

Zur Veranschaulichung der Funktionsweise der Vorrichtung zur Signalverarbeitung mit einem nichtlinearen optischen Bauelement wird die einfachste Struktur, bestehend aus Laserdiode, nichtlinearem optischen Bauelement und Photodiode betrachtet.

- 10 In einer Vorrichtung nach der Erfindung kann jedoch als Quelle für eine elektromagnetische Strahlung mit veränderbarer Intensität auch jede andere geeignete Lichtquelle verwendet werden. Nach einer Ausführungsform der Erfindung kann als Quelle für die elektromagnetische Strahlung mit veränderbarer Intensität ein Laser verwendet werden. Nach einer anderen Ausführungsform der Erfindung wird die veränderbare Intensität
- 15 durch Kombination zweier konventionelle Laser erzeugt. Nach einer weiteren Ausführungsform der Erfindung kann als Quelle für die elektromagnetische Strahlung mit veränderbarer Intensität eine Gasentladungslampe verwendet werden.

- Zur Übertragung und Verarbeitung von Informationen ist am besten monochromatisches kohärentes Laserlicht geeignet. Die aus Elementen der Gruppen III und V des Periodensystems der chemischen Elemente bestehenden Halbleitermaterialien wie GaAs, GaAlAs, und InGaAsP besitzen Energiefüllungen, welche die Emission von Photonen im sichtbaren Bereich ermöglichen. Laserdioden aus einem dieser Materialien können mit elektrischem Strom als Energiequelle betrieben werden. Auch mit LEDs
- 20 lässt sich Photonenstrahlung erzeugen.
 - 25

Bevorzugt wird Laserlicht mit einer Intensität zwischen 0.1 und 1500 mW verwendet.

- 30 Im Laser werden elektrische Signale in einen Photonstrom umgewandelt, der in dem nichtlinearen optischen Bauelement verarbeitet, weiter zu dem Empfänger geleitet und dort in ein elektrisches Signal zurückverwandelt wird.

Dem Laserstrahl werden Informationen aufgeprägt indem man mittels der anregenden Spannung die Strahlintensität, z. B. entsprechend einem Bitmuster, steuert.

- 5 Die auf das nichtlineare optische Bauelement einfallende elektromagnetische Strahlung wird von den photolumineszierenden Kohlenstoff-Nanoröhren absorbiert und erzeugt, in der Regel spektral verschoben, Photolumineszenzlicht (Fig. 1), dass schließlich zu einem Photostrom weiterverarbeitet wird.
- 10 Der genutzte Wellenlängenbereich wird durch das verwendete Nanoröhrenmaterial und dessen Herstellungsverfahren bestimmt. Dieser liegt bei dem in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel bei 700 ± 250 nm.

Verwendet man erfindungsgemäß Kohlenstoff-Nanoröhren mit einer Nichtlinearität der Photolumineszenz in einem nicht-linearen optischen Bauelement, so erhält man ein nichtlineares rein-optisches Bauelement für die oben genannten Operationen.

Das optisch nichtlineare Bauelement wirkt z. B. als Schalter für Licht. Wird die Leistung eines Laserstrahls, der ein solches Element bestrahlt, über einen bestimmten Schwellwert erhöht, d.h. die Eingangsintensität für das nichtlineare Bauelement erhöht, so ergibt sich ein sprunghafter Anstieg des emittierten Lichtes. Als Steuerparameter zum Umschalten wird also die Lichtintensität $P_{in} = \sigma P_0$ benutzt, die zum Beispiel durch elektrooptische Intensitätsmodulation der elektromagnetischen Eingangsstrahlung werden kann. P_{in} ist die Intensität des Photolumineszenzlichts, σ der Verstärkungsfaktor und P_0 die Intensität des Eingangslichts.

Dieser Effekt ermöglicht es, solche optisch nichtlinearen Bauelemente als Schaltelemente für eine digitale rein-optische Datenverarbeitung zu verwenden.

Bemerkenswert ist der Grad der im Rahmen der vorliegenden Erfindung nutzbaren optischen Nichtlinearität. Bei bekannten optischen Nichtlinearitäten wächst die Intensität des abgestrahlten Signals beispielweise beim Kerr-Effekt proportional zur dritten Potenz des eingestrahlten Signals. Im Falle der "second harmonic generation (SHG)"

5 kann ein quadratisches Anwachsen der Intensität des abgestrahlten Signals beobachtet und genutzt werden. Nichtlineare optische Bauelemente mit photolumineszenzfähigen Kohlenstoff-Nanoröhren kommen mit einer sehr viel geringeren Startintensität aus, denn, wie in Fig. 2 und 3 gezeigt, steigt die Intensität des abgestrahlten Lumineszenzlichts mit der achten Potenz des eingestrahlten optischen Impulses an.

10

Der Schwellenwert für die nichtlineare Verstärkung ist in gewissen Umfang von dem Herstellungsverfahren für die Kohlenstoff-Nanoröhren abhängig. In Fig. 3 ist der Intensitätsverlauf mehrwandiger, durch Mikrowellen-Plasma-CVD erzeugte Kohlenstoff-Nanoröhren abgebildet.

15

Eine zweidimensionale Anordnung der nichtlinearen optischen Bauelemente ist besonders interessant, z.B. in einer Schaltermatrix, bei der die einzelnen Schaltelemente lateraler Abmessungen in der Größenordnung von $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ besitzen und möglichst eng benachbart sind.

20

Auf der Empfangsseite enthält das System einen optischen Empfänger, der das optische intensitätsmodulierte Signal empfängt.

25

Zum Signalempfang sind sowohl lichtemittierende Dioden als auch konventionelle Halbleiterdioden einsetzbar. Der auf eine pn-Diode treffende Photonenstrahl regt Elektronen in das Leitungsband an. Gleichzeitig entsteht die entsprechende Anzahl Löcher im Valenzband. Bei anliegender Spannung fließt ein Strom, dessen Stärke der einfallenden Strahlungsintensität entspricht, und der noch weiter verstärkt werden kann.

Die Grundstruktur des erfindungsgemäßen nichtlinearen optischen Bauelementes kann prinzipiell eine einzige Kohlenstoff-Nanoröhre umfassen. Bevorzugt ist eine Ausführungsform, bestehend aus Substrat, Kohlenstoff-Nanoröhrenschicht und gegebenenfalls Zwischenschicht. Sie kann nach bekannten Techniken gefertigt sein,
5 vorzugsweise durch Abscheidung aus der Gasphase durch ein Mikrowellenplasma.

Prinzipiell kann das nichtlineare optische Bauelement Kohlenstoff-Nanoröhren in zufälliger Orientierung enthalten. Bevorzugt werden die Kohlenstoff-Nanoröhren als kurzwandige, geordnet abgeschiedene Schicht eingesetzt, um die Lichtstreuung zu
10 vermindern..

Das nichtlineare optische Bauelement enthält Kohlenstoff-Nanoröhren. Unter Nanoröhren im allgemeinen versteht man feste zylindrisch geformte diskrete Fasern mit Abmessungen im Nanobereich. Kohlenstoff-Nanoröhren sind Karbonhohlfasern mit
15 ein- und mehrwandigen Strukturen aus einer einzelnen aufgerollten Graphitschicht oder konzentrisch angeordneten Graphitzylindern. Die Graphitschicht enthält allseitig aneinander kondensierten Kohlenstoff-Sechsringen und ist wie eine Bienenwabe so zu einer zylindrischen Form aufgerollt, dass die Kohlenstoff-Sechsringe als Helix angeordnet sind.

20 Innerhalb einer Schicht ist jedes Kohlenstoffatom wie im Graphit mit je drei anderen Kohlenstoffatomen durch sp^2 -Bindungen vernetzt, von einer Schicht zur anderen sind nur schwache van der Waal'sche Kräfte vorhanden. Derartige Kohlenstoff-Nanoröhren haben sowohl metallische als auch halbleitende Eigenschaften.

25 In dem erfindungsgemäßen nichtlinearen optischen Bauelement können photolumineszenzfähige, einwandige Kohlenstoff-Nanoröhren eingesetzt werden. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung werden jedoch bevorzugt mehrwandige Kohlenstoff-Nanoröhren verwendet.

Mehrwandige Kohlenstoff-Nanoröhren (Multiwall Carbon Nanotubes (MWCNTs)) haben eine Schichtstruktur mit einer Hülle aus einer Anzahl kontinuierlicher konzentrischer Schichten oder Schalen aus sp^2 -gebundenem Kohlenstoff, die konzentrisch um die Röhrenachse angeordnet sind.. Ein innerer Hohlraum kann mehr oder weniger stark ausgeprägt sein. Die Schalen können Defekte wie Fehlstellen, Bindungsbrüche und eingebaute Fremdatome aufweisen.

Der genaue Aufbau der mehrwandigen Nanoröhren ist nicht kritisch, solange sie mehrschichtig sind und eine Struktur haben, bei der die Kohlenstoffatome innerhalb einer Schicht durch sp^2 -Bindungen zu hexagonalen Ringen und von einer Schicht zur anderen durch van der Waal'sche Kräfte verknüpft sind.

Nach einer Ausführungsform der Erfindung sind die Kohlenstoff-Nanoröhren durch Spurenmengen anderer Elemente dotiert, um die optischen Eigenschaften zu beeinflussen.

Nach einer anderen Ausführungsform der Erfindung sind die Kohlenstoff-Nanoröhren chemisch substituiert, um die optischen Eigenschaften zu beeinflussen.

Bevorzugt werden die Kohlenstoff- Nanoröhren als kurzwandige, geordnet abgeschiedene Schicht eingesetzt, um die Lichtstreuung zu vermindern..

Die Dicke der Nanoröhren-haltigen Schicht lässt sich beispielsweise durch gezieltes Rückätzen mit hoher Genauigkeit einstellen. Nanoröhrenschichten ab einer Dicke von etwa 5 nm sind damit realisierbar. Typischerweise haben sie einen Dicke von 2 nm bis 300 nm, bevorzugt 20 bis 50nm.

Verfahren zur Herstellung von Kohlenstoff-Nanoröhren sind bekannt. Am einfachsten lassen sie sich durch eine Lichtbogenentladung zwischen zwei Kohleelektroden in großem Maßstab herstellen.

Andere bekannte Methoden umfassen Laserverdampfung und CVD-Verfahren, insbesondere Plasma-gestützte CVD-Verfahren.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung werden bevorzugt Kohlenstoff-Nanoröhren verwendet, die durch ein Mikrowellen-Plasma-gestütztes CVD-Verfahren abgeschieden worden sind.

Das erfindungsgemäße nichtlineare optische Bauelement wird zweckmäßigerweise als Ensemble in einer Matrix mit lateraler Strukturierung verwendet und entsprechend hergestellt.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung sind für das nichtlineare optische Bauelement Herstellungsverfahren bevorzugt, mit denen die Nanoröhren direkt geordnet auf einem Substrat abgeschieden werden.

Die Herstellung eines orientierten Arrays von Kohlenstoff Nanoröhren mit kontrollierter Orientierung, Durchmesser, Länge und Form umfasst die folgenden Schritte: Bereitstellung eines Substrates, Abscheidung eines Katalysators auf dem Substrat, Abscheidung der Nanoröhren durch thermische Abscheidung aus einem Kohlenwasserstoff oder durch ein CVD-Verfahren auf dem mit einem Katalysator beschichtetem Substrat.

Nach einer Ausführungsform der Erfindung ist das Substrat transparent und besteht aus Quarz-, Borosilikat- oder Weichglas.

Als nächstes wird ein Katalysator, der die Bildung von Nanoröhren aus einem kohlenstoffhaltigen Ausgangsmaterial katalysiert aufgebracht. Solche Katalysatoren sind z. B. Übergangsmetalle, insbesondere Metalle aus der 8. Nebengruppe des PSE e. g. Eisen, Kobalt, Nickel, Ruthenium, Rhodium, Palladium, Osmium, Iridium und Platin. Metalle aus der Reihe der Lanthaniden und Aktiniden sowie Molybdän sind ebenfalls geeignet.

Nach einem geeigneten Herstellungsverfahren wird eine dünne Schicht eines Übergangsmetalls, die beispielsweise aus einer ca. 2 nm dicken Nickelschicht besteht, auf ein Substrat wie Silizium oder Glas aufgebracht. Das Übergangsmetall kann auch in
5 Form von kleinen Clustern bzw. Einzelatomen in einem nasschemischen Prozess abgeschieden sein.

Für die eigentliche Herstellung der Kohlenstoff-Nanoröhren werden ein kohlenstoffhaltiges Ausgangsmaterial und Reaktionsbedingungen, die zusammen mit dem Katalysator das Wachstum der Kohlenstoff-Nanoröhren aus einem kohlenstoffhaltigen Ausgangsmaterial bewirken, benötigt.
10

Das kohlenstoffhaltige Ausgangsmaterial ist üblicherweise ein Kohlenwasserstoff mit einem bis sieben Kohlenstoffen, z. B. Alkane, Alkene, Aryle. Besonders geeignet sind
15 Methan Ethan, Ethylen, Ethin, Aceton, Propan und Propylen.

Wichtigster Reaktionsparameter ist die Temperatur. Die erforderliche thermische Energie kann auf unterschiedliche Art und Weise zugeführt werden.
20 Die Reaktionstemperaturen können zwischen 100 und 1300°C liegen, bevorzugt liegen sie zwischen 300 und 800°C.

Wenn die Kohlenstoff-Nanoröhren nicht bereits auf einem geeigneten Substrat abgeschieden wurden, können sie mit den bekannten Methoden zu einer Schicht geformt
25 oder als Beschichtung auf ein Substrat aufgebracht werden.

Als Herstellungsverfahren kommen sowohl Trockenbeschichtungsverfahren, wie z. B. elektrostatische Abscheidung oder elektrostatisch unterstütztes Bestäuben, als auch ein Nassbeschichtungsverfahren wie z. B. Tauchen oder Sprühen in Betracht.
30

Die Anordnung der nichtlinearen optischen Bauelemente als flächiges Ensemble kann z. B. auch in Form einer Verbundfolie aus einem polymeren Harz mit regelmäßig angeordneten Nanoröhren erfolgen.

- 5 Polymere Harze, die für die Erfindung geeignet sind, sind z. B. Acrylharze, Polycarbonate, Polystyrene, Polyester, Epoxydharze, Polypropylenharze, Polyethylenharze, Siliconelastomere, thermoplastische Polystyrene und Polyolefine und Polyurethane.
- 10 Beispielsweise kann man eine Suspension der Nanoröhren in einer Bindemittellösung, die Acrylharze, Polycarbonate, Polystyrene, Polyester, Epoxydharze, Polypropylenharze, Polyethylenharze, Siliconelastomere, thermoplastische Polystyrene und Polyolefine und Polyurethane in einem unpolaren Lösungsmittel wie N,N'-dimethylformamid auf ein geeignetes Substrat aufgebracht und dann zu einer
- 15 Verbundfolie getrocknet werden.

Bevorzugt ist eine weitere Ausführungsform, bestehend aus Substrat, Kohlenstoff-Nanoröhrenschicht und einer Dünnschichtbeschichtung, die die Kohlenstoff-Nanoröhren gegen Oxidation schützt. Es ist auch möglich, die Kohlenstoff-Nanoröhren in eine für das anregende und das Lumineszenzlicht hinreichend durchlässige feste oder flexible Schicht einzubetten, beispielsweise in ein Glas oder in einen Kunststoff. Auch diese kompakten Schichten können die Kohlenstoff-Nanoröhren vor Oxidation schützen. Schützt man die Kohlenstoff-Nanoröhren nicht oder nur in begrenztem Maße vor Oxidation, so kann es beim Einstrahlen von Licht aufgrund von Strukturänderungen bei konstanter Intensität des eingestrahlten Lichts zu einem mehr oder weniger schnellen zeitlichen Abfall der Intensität des abgestrahlten Lumineszenzlichts kommen (Fig. 4). Da der zeitliche Verlauf der Lumineszenzlichtintensität vom Partialdruck oxidativer Medien in der Umgebung der Kohlenstoff-Nanoröhren abhängt, kann er als optische Messgröße für die Konzentration derartige Medien, z. B. in einem optischen Sensor genutzt werden.

PATENTANSPRÜCHE

1. Vorrichtung zur optischen Signalverarbeitung ausgerüstet mit einer Quelle für elektromagnetische Strahlung mit veränderbarer Intensität, einem nicht-linearen optischen Bauelement, das mindestens eine photolumineszenzfähige Kohlenstoff-Nanoröhre umfasst, und mit einem Mittel zur Detektion elektromagnetischer Strahlung.

5

2. Vorrichtung zur optischen Signalverarbeitung gemäß Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass das nichtlineare optische Bauelement ein Substrat und eine Schicht mit einer Anzahl von photolumineszenzfähigen Kohlenstoff-Nanoröhren umfasst.

10

3. Vorrichtung zur optischen Signalverarbeitung gemäß Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass das nichtlineare optische Bauelement weiterhin eine Zwischenschicht zwischen Substrat und der Schicht mit einer Anzahl von photolumineszenzfähigen Kohlenstoff-Nanoröhren umfasst.

15

4. Vorrichtung zur optischen Signalverarbeitung gemäß Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die elektromagnetische Strahlung monochromatisches kohärentes Laserlicht ist.

20

5. Nicht-lineares optisches Bauelement mit mindestens einer photolumineszenzfähigen Kohlenstoff-Nanoröhre.

6. Nichtlineares optisches Bauelement nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Kohlenstoff-Nanoröhre eine Dünnschicht-Beschichtung aufweist.
- 5 7. Nichtlineares optisches Bauelement nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Kohlenstoff-Nanoröhre in eine nichtoxidierende Matrix eingebettet ist.
8. Nichtlineares optisches Bauelement nach Anspruch 5,
10 dadurch gekennzeichnet,
dass die Kohlenstoff-Nanoröhre in eine nichtoxidierende Matrix eingebettet ist,
die transparent für elektromagnetische Strahlung ist.
9. Nichtlineares optisches Bauelement nach Anspruch 5,
15 dadurch gekennzeichnet,
dass die Kohlenstoff-Nanoröhre in eine nichtoxidierende, flexible Matrix eingebettet ist.

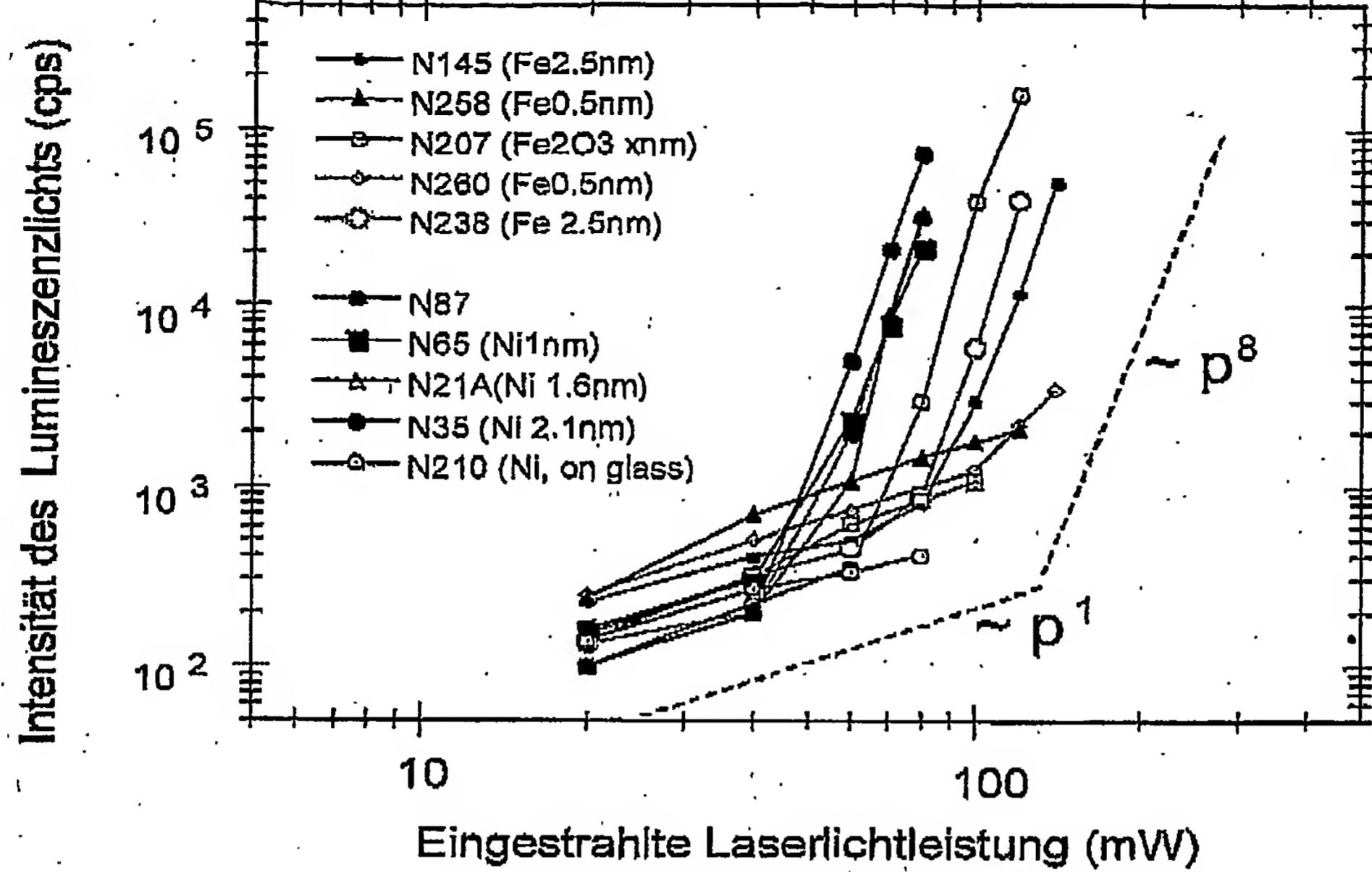


FIG. 1

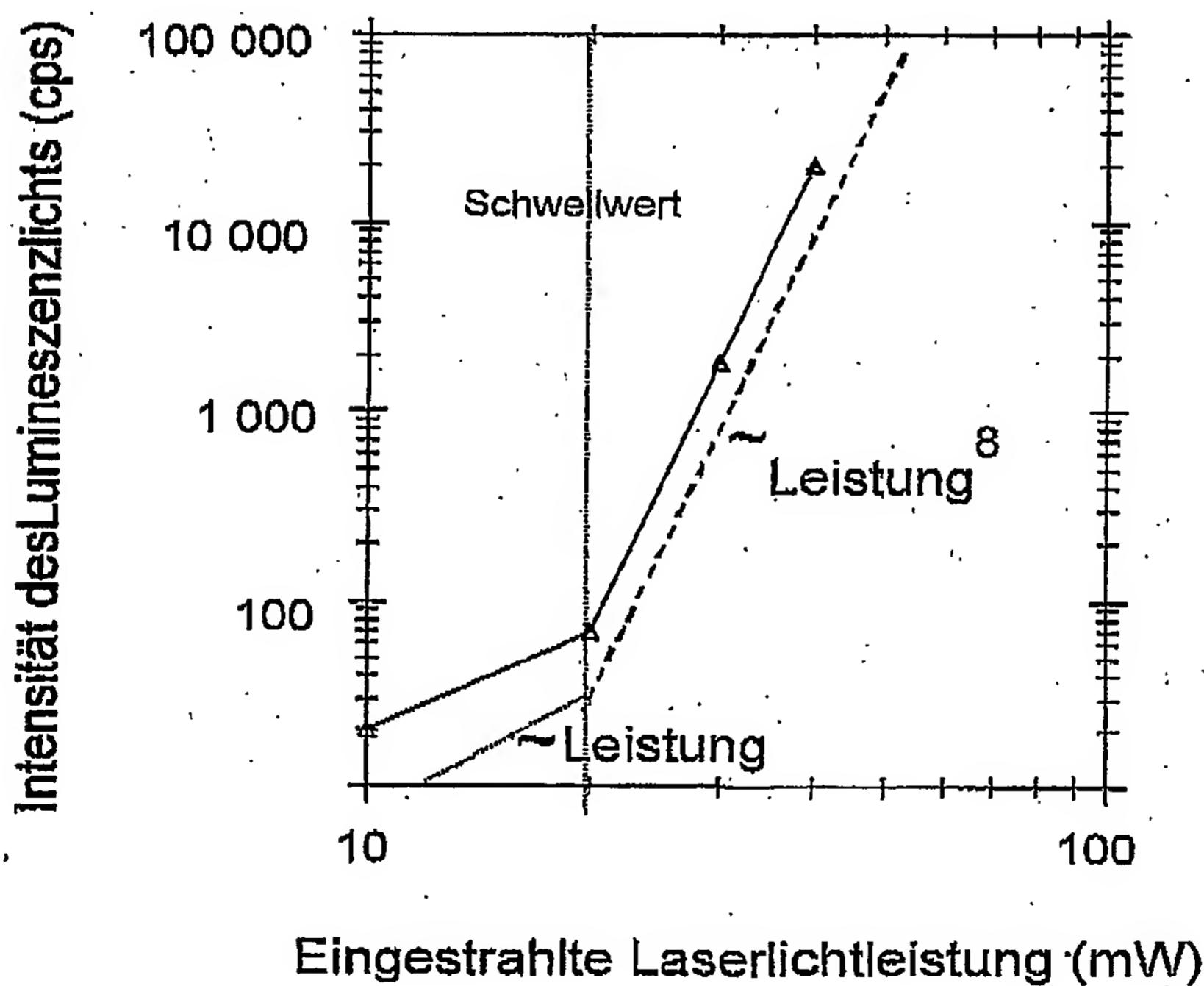


FIG. 2

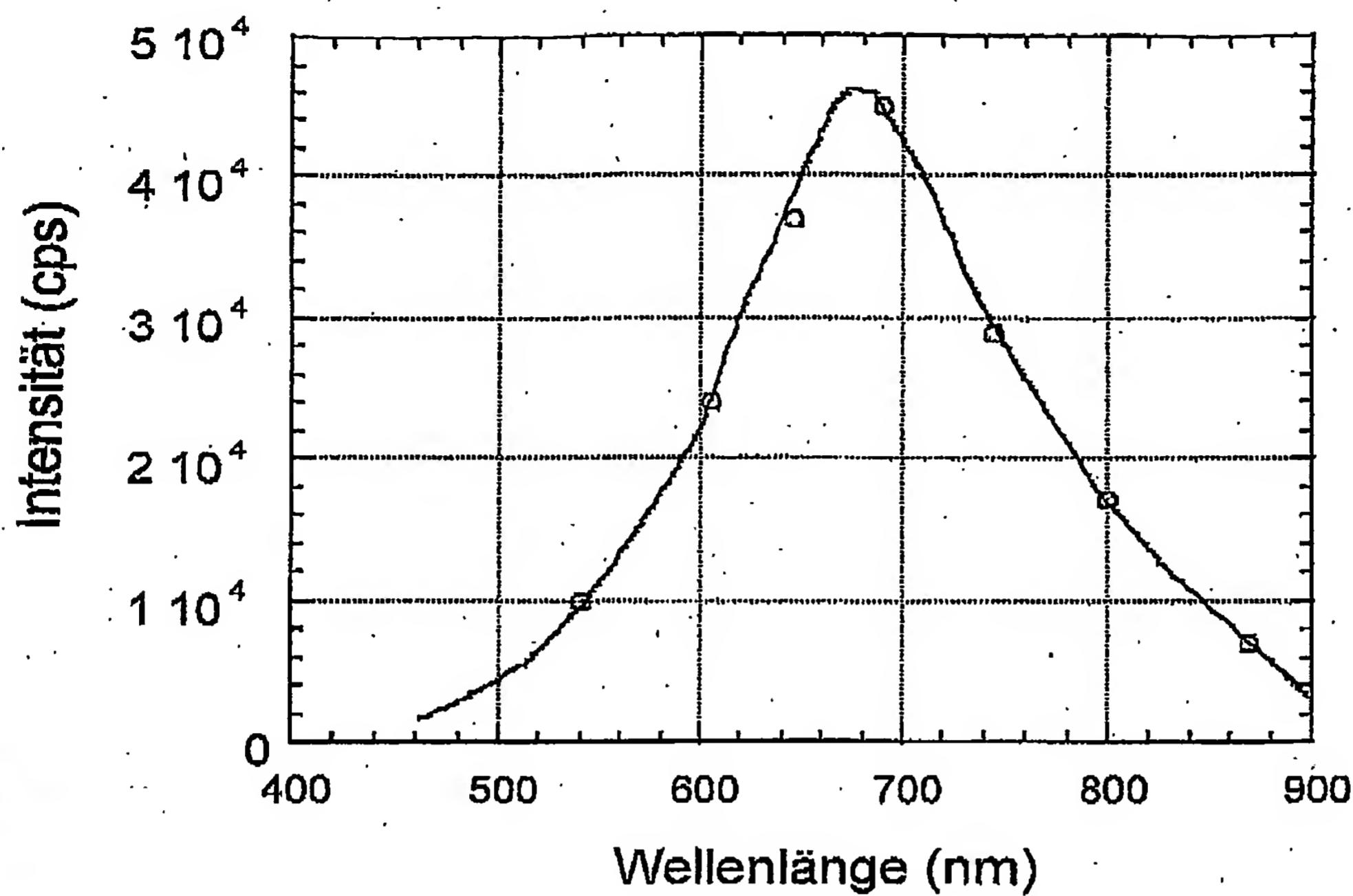


FIG. 3

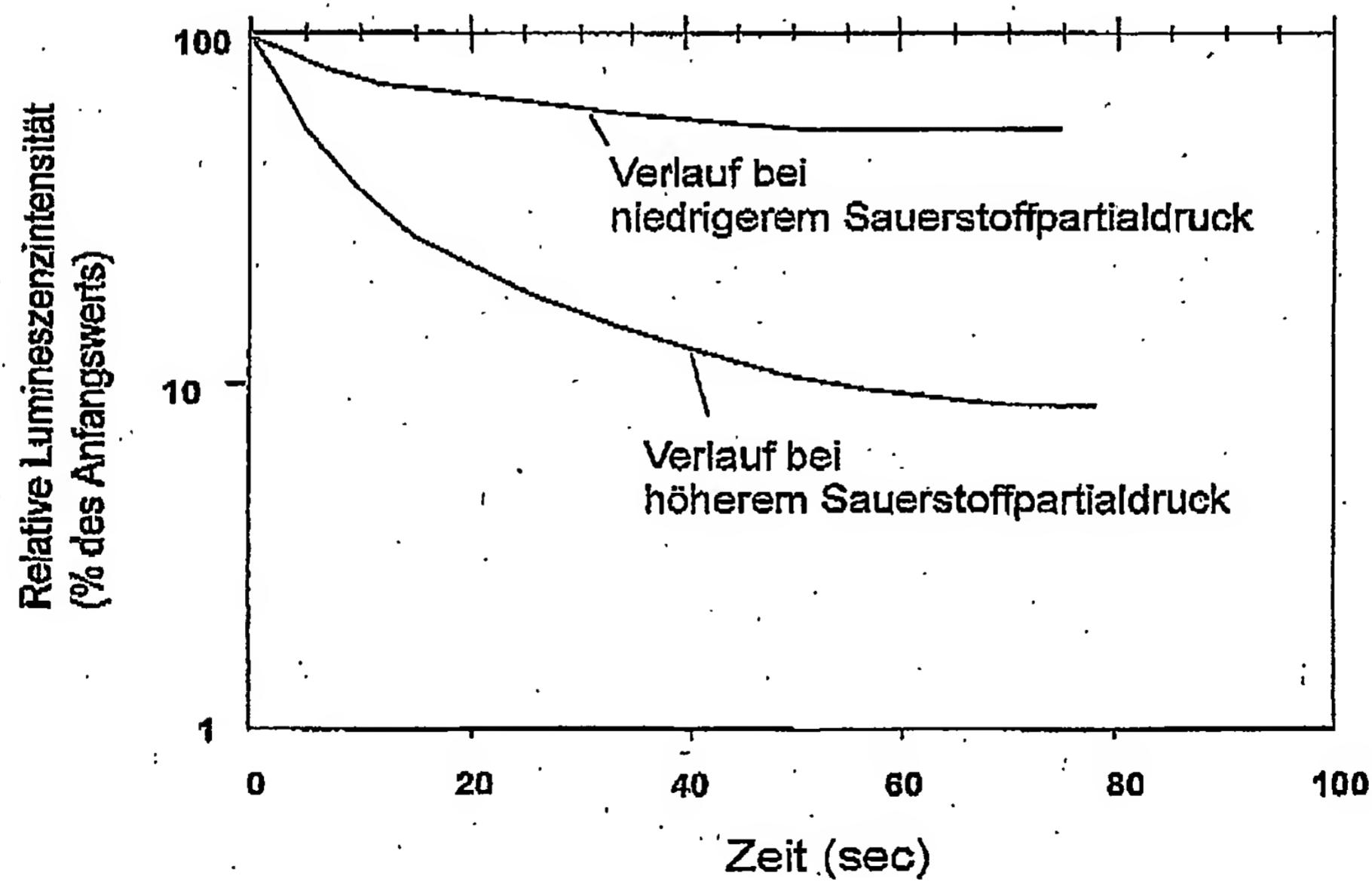


FIG. 4

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.